

MODEL NUMERIK TRANSPOR SEDIMEN DAN PERUBAHAN MORFOLOGI DASAR PERAIRAN DI MUARA SUNGAI TOAYA

NUMERICAL MODELS OF SEDIMENT TRANSPORT AND MORPHOLOGICAL CHANGES IN THE TOAYA RIVER ESTUARY

Nur Afni¹⁾ Yutdam Mudin¹⁾ Abdul Rahman¹⁾

¹⁾ Jurusan Fisika FMIPA Universitas Tadulako

Email: nurafniramli@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai transpor sedimen dan dampaknya terhadap perubahan batimetri di Muara Sungai Toaya. Tujuan Penelitian ini adalah memodelkan transpor sedimen oleh arus sungai dan arus laut. Kecepatan arus itu disebabkan oleh debit Sungai Toaya, angin permukaan laut dan gelombang pasang surut. Model numerik telah dapat menentukan nilai kecepatan arus sungai dan laut serta transport sedimen dasar. Daerah penelitian ini berada di daerah Muara Sungai Toaya. Data-data pengukuran dilapangan (data primer) yang digunakan adalah debit aliran sungai dan sedimen, sedangkan data-data sekunder adalah batimetri, gelombang pasang surut dan angin permukaan laut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan arus di Sungai Toaya sangat kecil. Kecepatan arus maksimum yang terjadi di Sungai Toaya pada saat perbani dan saat purnama adalah berturut-turut 0.006 m/det dan 0,014 m/det. Secara keseluruhan sebaran sedimen selama 31 hari yang terlihat di sekitar muara Sungai Toaya dominan ke arah barat. Besarnya konsentrasi sedimen yang tertransport 0.0066 kg/m³, dengan demikian maka konsentrasi sedimen selama 31 hari mencapai 0.03 kg/m³.

Kata kunci : Pola arus, Transpor Sedimen, Konsentrasi Sedimen

ABSTRACT

Research on sediment transport and its impact on bathymetric changes in the Toaya River Estuary has been carried out. The aim of the study was to model sediment transport by river and sea currents. The currents were caused by the Toaya River discharge, sea level winds and tidal waves. Numerical models have been able to determine the velocity values of river and sea currents and basic sediment transport. This research area is located in the Toaya River Estuary area. Field measurement data (primary data) used are river flow and sediment flows data, while secondary data are bathymetry, tidal waves, and sea surface winds. The results showed that the flow velocity on the Toaya River was very small. The maximum current velocity that occurs in the Toaya River at the neap tide and at spring tide is 0.006 m/sec and 0.014 m/sec respectively. Overall the 31-day sediment distribution seen around the mouth of the Toaya River is dominant westward. The amount of sediment concentration that was transported was 0.0066 kg/m³, thus the sediment concentration for 31 days reached 0.03 kg/m³.

Keyword : *Current Pattern, Sedimen Transport, Sedimen Concentration*

I. PENDAHULUAN

Muara sungai merupakan tempat pertemuan hilir sungai dengan laut. Pada dasar perairan muara terjadi pengendapan karena terjadi pertemuan partikel pasir atau lumpur yang dibawa oleh arus sungai bertemu dengan pasir yang berada di daerah sekitar pantai. Dengan demikian percampuran pasir tersebut menghasilkan pengendapan lumpur yang sangat berpengaruh pada perilaku kehidupan organisme muara.

Transpor sedimen merupakan komponen dari aliran sungai yang memiliki faktor penting dalam perubahan atau morfologi suatu muara. Besar transpor sedimen tergantung dari kondisi geografis, lingkungan, tutupan lahan, dan kondisi geologi dari daerah aliran sungainya. Jika transpor sedimen sungai sangat tinggi di daerah pertemuan antara sungai dengan laut dan terjadi proses pengendapan akibat kecepatan aliran yang rendah maka material yang terangkut akan terendapkan di daerah pertemuan tersebut. Penumpukan material di daerah ini (muara) akan membentuk suatu daerah kering yang diklasifikasikan sebagai delta.

Muara Sungai Toaya terletak di pesisir Desa Toaya Kecamatan Sindue Kabupaten Donggala. Sungai ini mengalir dari arah timur ke barat dan bermuara di Teluk Palu. Sungai Toaya juga merupakan sungai abadi dimana kecil kemungkinan terjadi kekeringan sepanjang musim, dikarenakan cukup banyak anak sungai

yang bermuara di Sungai Toaya (Abdullah dkk., 2016).

Untuk mengetahui pengaruh angkutan sedimen sungai di muara maka perlu adanya kajian terhadap dampak perubahan morfologi di muara sungai tersebut dan upaya yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan yang dihasilkan.

Muara sungai adalah bagian hilir dari sungai yang berhubungan dengan laut. Permasalahan di muara sungai dapat ditinjau di bagian mulut sungai (*river mouth*) dan estuari. Mulut sungai adalah bagian paling hilir dari muara sungai yang langsung bertemu dengan laut. Sedangkan *estuari* adalah bagian dari sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut.

Secara umum terdapat empat tipe dasar pasang surut yang didasarkan pada periode dan keteraturannya. Pasang surut di Indonesia dapat dibagi menjadi empat jenis yakni pasang-surut harian tunggal (*diurnal tide*), harian ganda (*semidiurnal tide*) dan dua jenis campuran (Civilinaction, 2008).

Konstanta pasang surut diperoleh dengan menggunakan persamaan Admiralty. Menurut (Ilahude, 1999) tipe pasang surut dapat dibedakan menjadi tiga bentuk dasar berdasarkan pada nilai *Formzahl* (F), F yang diperoleh dari persamaan:

$$F = \frac{K1 + O1}{M2 + S2} \quad (1)$$

Debit (*discharge*), atau besarnya aliran sungai (*stream flow*) adalah volume aliran yang mengalir melalui suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Biasanya dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/det). Aliran adalah pergerakan air didalam alur sungai. Pada dasarnya pengukuran debit adalah pengukuran luas penampang basah, kecepatan aliran, dan tinggi muka air. Rumus umum yang biasa digunakan adalah:

$$Q = A \times V \quad (2)$$

Dengan demikian pengukuran debit adalah proses pengukuran dan perhitungan kecepatan aliran, kedalaman dan lebar aliran serta perhitungan luas penampang basah untuk menghitung debit dan pengukuran tinggi muka airnya.

Menurut Rifaldi (2012), hasil sedimen biasanya diperoleh dari pengukuran sedimen layang (*suspended sediment*) atau dengan cara pengukuran langsung di dalam waduk. Laju angkutan sedimen adalah banyaknya massa sedimen yang terangkut melalui satu satuan luasan dalam setiap satuan waktu, dinyatakan dalam m^2/s . Laju angkutan sedimen di sebuah titik pengamatan ditentukan sebagai hasil perkalian antara konsentrasi sedimen dengan kecepatan arus di titik tersebut. Konsentrasi sedimen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$C_n = \frac{M_{sedimen}}{v \times Mr \ H20} \quad (3)$$

Menurut Triatmodjo (1999), bahwa pengukuran angin biasa dilakukan di daratan, sedangkan didalam rumus-rumus pembangkit gelombang data angin yang digunakan adalah yang berada diatas permukaan laut sehingga diperlukan transformasi data angin di atas daratan yang terdekat dengan lokasi studi penelitian ke data angin diatas permukaan laut. Hubungan antara angin di atas laut dan angin diatas daratan terdekat diberikan oleh persamaan berikut:

$$R_L = \frac{U_W}{U_L} \quad (4)$$

Model RMA2 yang umum memecahkan persamaan kedalaman terintegrasi massa fluida dan konservasi momentum dalam dua arah horizontal. Bentuk-bentuk persamaan adalah:

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] + gh \left[\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{ah}{ax} \right] + \frac{g u n^2}{(1.486 h^{1/6})^2} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \zeta V_a^2 \cos \phi - 2h\omega v \sin \phi = 0 \quad (5)$$

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] + gh \left[\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{ah}{ay} \right] + \frac{g v n^2}{(1.486 h^{1/6})^2} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \zeta V_a^2 \cos \phi - 2h\omega u \sin \phi = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

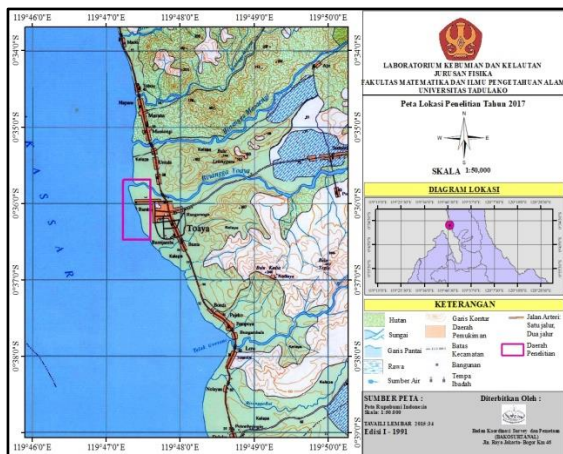
Analisa sedimentasi dilakukan dengan model SED2D. Persamaan Dasar pergerakan sedimen adalah Persamaan Konveksi-Difusi (Barbara, 2009):

Persamaan Convection-diffusion

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \alpha_1 C + \alpha_2 \quad (8)$$

II. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian ini berada di perairan muara Sungai Toaya dan sekitarnya, dalam hal ini di Desa Toaya Kecamatan Sindue Kabupaten Donggala. Secara geografis berada pada 119°47'27" - 119°48'47" BT dan 0°35'48" - 0°36'25" LS.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. *Global Positioning System* (GPS), digunakan untuk menentukan posisi (titik koordinat) tempat pengambilan data.
2. Palem 2 m, digunakan untuk mengukur pasang surut di lapangan.
3. *Flowmeter*, digunakan untuk mengukur kecepatan arus sungai.
4. Meteran 100 m, digunakan untuk mengukur penampang sungai.
5. Alat Tulis Menulis.

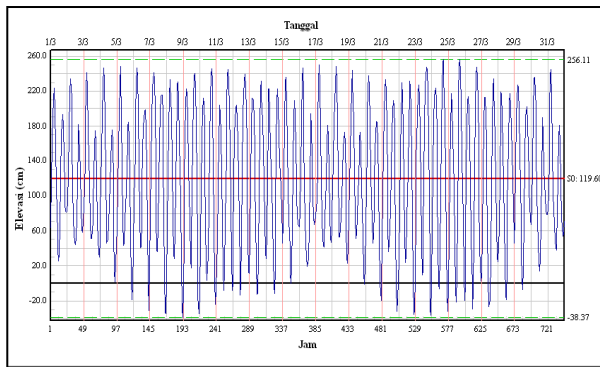
Simulasi hidrodinamika dan sedimentasi pada muara sungai ini menggunakan perangkat lunak SMS, tahapan pekerjaan pemodelan ini dilakukan dengan urutan tertentu. Tahap pertama adalah pembuatan mesh (*grid* perhitungan numerik), tahap kedua adalah memasukkan data elevasi muka air, data debit sungai, data parameter Viskositas Eddy dan nilai Manning untuk menjalankan *Resources Management Associates-2* (RMA-2). Tahap ketiga adalah diperolehnya solusi hidrodinamika yang didapatkan dari RMA-2 beserta data sedimen. Hasil simulasi ini digunakan sebagai data masukan untuk menjalankan *two dimensional sediment transport numerical model* (SED-2D). Tahapan selanjutnya adalah menjalankan program SED2D. Hasil dari tahapan ini adalah batimetri baru di muara sungai akibat pergerakan sedimen.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Penelitian ini, untuk memperoleh model hidrodinamika (model RMA2) maka telah menggunakan beberapa gaya pembangkit arus laut terutama di bagian batas terbuka. Gaya pembangkit pada batas terbuka di muara sungai adalah debit aliran Sungai Toaya yang diperoleh dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan 2.2 yaitu sebesar 3.9 m³/s.

Batas terbuka lainnya adalah perairan Selat Makassar maka data masukannya adalah data

gelombang pasang surut yang diperoleh dari stasiun pantolan.

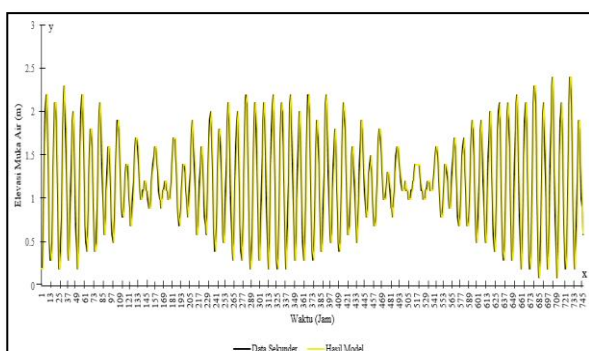


Gambar 2 Grafik pasang surut

Tabel 1. Nilai-nilai komponen pasang surut perairan Sungai Toaya

	So	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4
A (cm)	119.6	22.4	87.9	4.8	20.2	14.7	35.1	4.9	3.5	13.7
g (der)		210	143	176	143	525	212	525	127	187

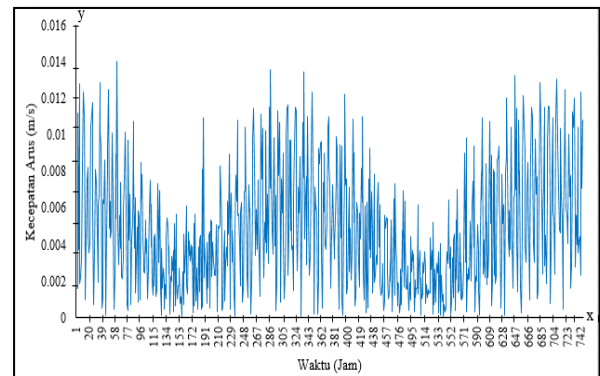
Gelombang pasang surut stasiun pelabuhan Pantoloan yang sudah diolah kemudian dibandingkan dengan data hasil simulasi untuk verifikasi model hidrodinamika seperti pada Gambar 3.



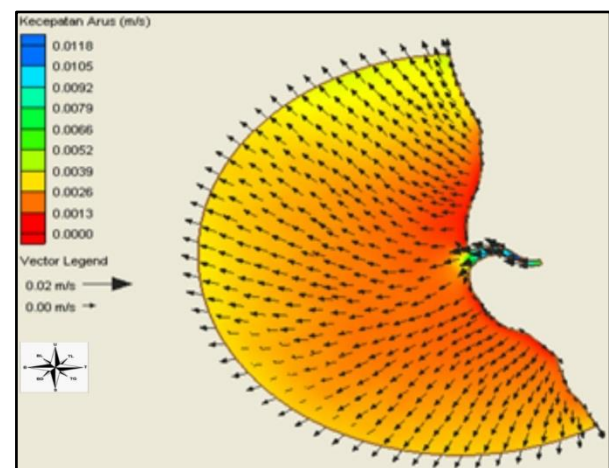
Gambar 3 Perbandingan gelombang pasang surut antara lapangan yang diolah dengan data hasil pemodelan hidrodinamika.

Pengaruh gelombang pasang surut terhadap arus laut di muara Sungai Toaya sangat

dominan. Gambar 4 menunjukkan bahwa fluktuasi perubahan kecepatan memiliki profil perubahan yang mirip dengan perubahan tinggi muka laut. Nilai Kecepatan arus maksimum saat perbani sekitar 0,006 meter/detik sedangkan kecepatan arus maksimum saat purnama mencapai 0.014 m/det.



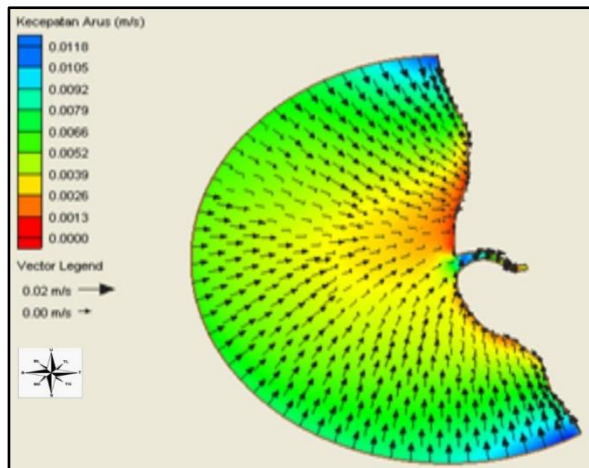
Gambar 4. Hasil simulasi perubahan kecepatan arus terhadap waktu di muara Sungai Toaya.



Gambar 5. Kondisi arus pada surut purnama

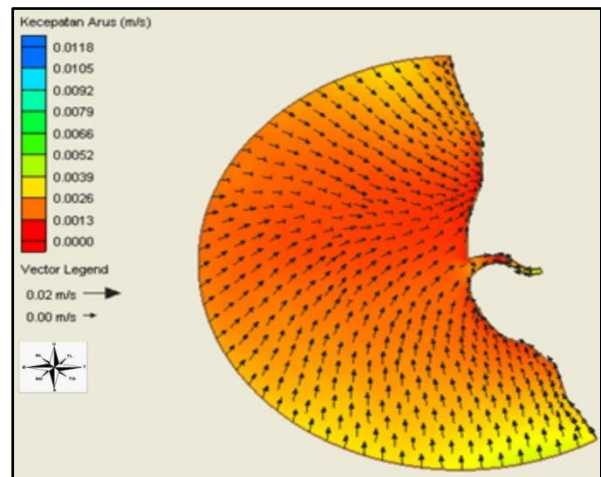
Gambar 5. menunjukkan hasil simulasi arus pada kondisi surut terendah purnama. Secara keseluruhan arus bergerak seragam cenderung meninggalkan sungai menuju ke arah utara. Pada kondisi air surut terendah, kecepatan arus pasang surut mulai melemah. Kecepatan arus

maksimum di seluruh bagian Muara Sungai Toaya adalah 3.9×10^{-3} m/det.



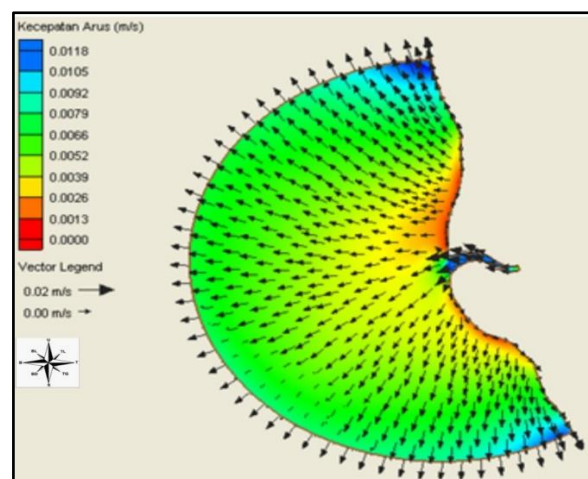
Gambar 6. Kondisi arus menuju pasang purnama

Gambar 6. juga menunjukkan pola pergerakan arus laut dimana terjadi pemasukan massa air dari laut dengan kecepatan arus yang relatif tinggi dari arah utara dan arah selatan yaitu 11.8×10^{-3} m/det, dari arah barat kecepatan arus sebesar 6.6×10^{-3} m/det. Kecepatan arus laut melemah setelah mendekati pesisir pantai yaitu sebesar 1.3×10^{-3} m/det. Sedangkan kondisi arus di Muara Sungai memiliki kecepatan sebesar 7.9×10^{-3} m/det.



Gambar 7. Kondisi arus pada pasang purnama

Gambar 7 menunjukkan pola arus pasang surut hasil simulasi model hidrodinamika pada saat air tertinggi menunjukkan bahwa arus pasang surut didominasi oleh aliran yang bergerak masuk kemulut sungai dengan kecepatan maksimum 2.6×10^{-3} m/det.

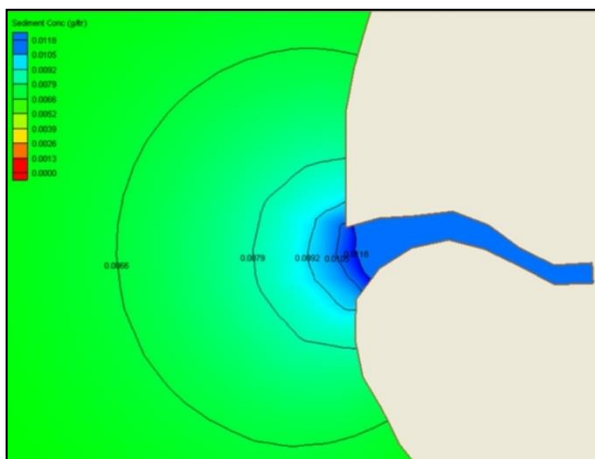


Gambar 8. Kondisi arus menuju surut purnama

Gambar 8. menunjukkan ketika elevasi air mencapai kondisi pasang menuju surut, kecepatan arus pasang surut diketahui lebih besar bila dibandingkan dengan saat air

tertinggi dan pola arus didominasi oleh aliran yang bergerak ke arah barat kemudian berbelok ke arah utara dengan kecepatan maksimum 11.8×10^{-3} m/det.

Berdasarkan skenario pemodelan numerik maka sedimen dasar terangkat dan disekitar mulut sungai, konsentrasi sedimen dasar sebesar 0,0118 gr/liter. Demikian juga di lokasi estuari Sungai Toaya, konsentrasi sedimen dasar adalah 0.0105 gr/liter dan konsentrasinya menurun pada perairan yang semakin jauh dari sungai hingga 0.0066 gr/liter.



Gambar 9. Sebaran konsentrasi sedimen dasar

Berdasarkan hasil dari pemodelan numerik maka telah diperoleh pola hidrodinamika arus baik di Sungai maupun di muara di Desa Toaya, Kabupaten Donggala. Pola arus hidrodinamika daerah muara Sungai Toaya menunjukkan bahwa pengaruh gelombang pasang surut sangat dominan. Dengan demikian pengaruh angin yang umumnya berasal dari arah utara terhadap pola arus di muara Sungai Toaya sangat kecil. Nilai maksimum arus laut terjadi ketika kondisi

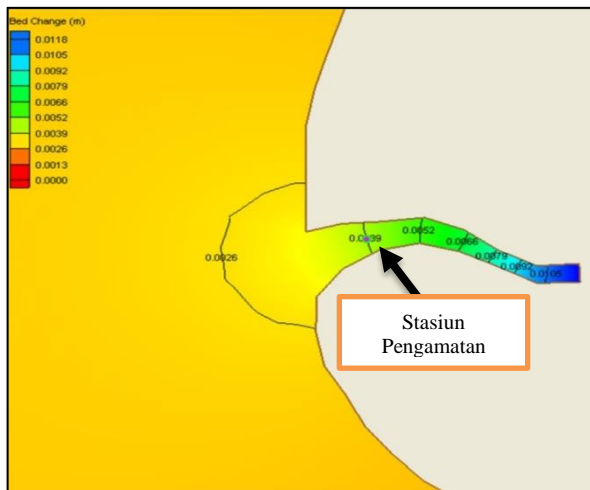
pasang surut purnama yaitu 11.8×10^{-3} m/detik

Setiap hari terjadi 2 kali pasang dan 2 kali surut dimana kecepatan arus harian bernilai maksimum saat gelombang pasang menuju surut dan/atau gelombang surut menuju pasang seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Kecepatan arus di perairan Sungai Toaya

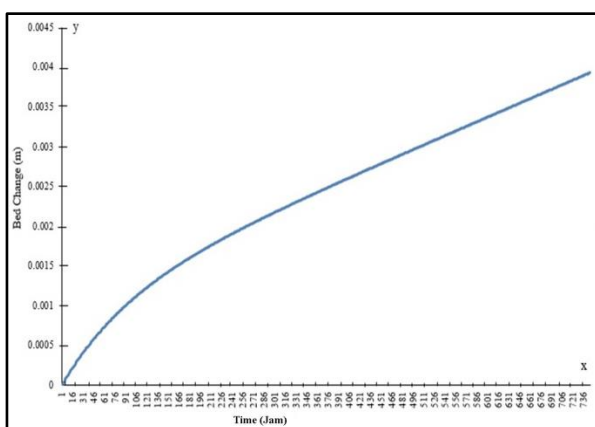
Fase	Kecepatan Arus Maksimum Perairan Toaya (m/s)			
	Pasang	Surut	Menuju Pasang	Menuju Surut
Perbani	1.3×10^{-3}	1.3×10^{-3}	1.3×10^{-3}	2.6×10^{-3}
Purnama	2.6×10^{-3}	3.9×10^{-3}	11.8×10^{-3}	11.8×10^{-3}

Gambar 10 menunjukkan hasil simulasi perubahan morfologi dasar sungai dan muara selama 31 hari yang diakibatkan oleh adanya input sedimentasi dari Sungai Toaya. Perubahan dasar sungai tertinggi terjadi di lokasi yang berdekatan dengan syarat batas sedimentasi di sungai kemudian berkurang konsentrasi sedimennya ketika mencapai perairan di muara Sungai Toaya.

Gambar 10. *Bed change*

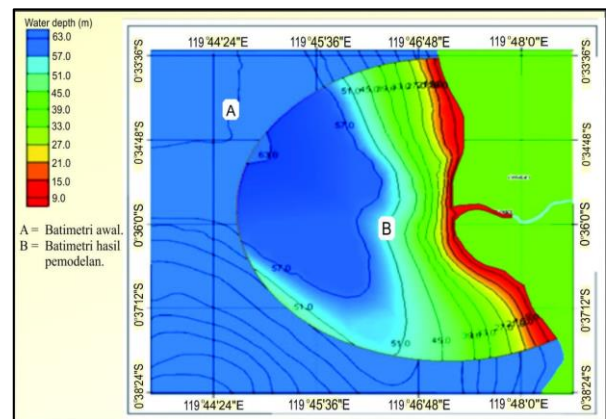
Hasil simulasi numerik selama 31 hari telah menunjukkan adanya pendangkalan sungai dimana pendangkalan maksimum sekitar 0.0118 meter. Pendangkalan juga terjadi di mulut sungai hingga muara Sungai Toaya.

Untuk dapat mengetahui laju pendangkalan perairan yang diakibatkan oleh sedimentasi, maka Gambar 11 menunjukkan nilai perubahan dasar perairan (*bed change*) terhadap waktu pada titik stasiun pengamatan.



Gambar 11. Perubahan kedalaman terhadap waktu

Hasil pemodelan telah menunjukkan bahwa besarnya pendangkalan di stasiun pengamatan sekitar 4 mm setiap bulan. Dengan demikian, berdasarkan nilai rata-rata bulanan maka dalam 1 (satu) tahun akan berpotensi terjadi pendangkalan dimulut sungai sekitar 4.8 cm.



Gambar 12. Perubahan kontur kedalaman perairan di muara Sungai Toaya

Gambar 12 menunjukkan perubahan kontur kedalaman terjadi hampir pada semua lokasi muara akan tetapi perubahan itu dominan terjadi disekitar garis pantai. Terjadinya pergeseran kontur kedalaman ini telah menunjukkan bahwa model numerik pada penelitian ini sudah dapat menghubungkan antara parameter transport sedimen dasar terhadap perubahan morfologi dasar sungai dengan sangat baik.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data pada Model Numerik Transpor Sedimen dan Perubahan Morfologi Dasar Perairan di Muara Sungai Toaya didapatkan pola arus di perairan Sungai Toaya didominasi oleh arah yang menuju ke arah utara. Pada kondisi

purnama terjadi pada saat menuju surut dengan nilai kecepatan sebesar 11.8×10^{-3} m/det yang juga berada di mulut Teluk Palu. Pada Model SED2D telah dapat dihasilkan model numerik proses pendangkalan/perubahan batimetri yang diakibatkan oleh adanya angkutan sedimen dari sungai. Simulasi selama 31 hari menunjukkan besarnya pendangkalan disekitar mulut sungai adalah 0.003 m, dan penyebaran sedimen sampai ke muara sungai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih buat kedua orang tua dan adik-adikku tersayang yang selalu mendukung serta mendoakan selama studiku dan juga buat teman-teman angkatan Oseanografi dan Geofisika Jurusan Fisika FMIPA UNTAD.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Efendi, R., dan Rugayya, S. (2016). Identifikasi Kondisi Bio-fisik Sungai Toaya Kec. Sindue Kab. Donggala Provinsi Sulawesi Tengah, *Jurusan Fisika FMIPA Universitas Tadulako, Palu*.
- Barbara, P. (2008). *User Guide To SED2D Wes Version 4.5, US Army, Engineer Research and Development Center Waterways Experiment Station Coastal and Hydraulics Laboratory, USA*.
- Civilinaction. (2008). Pengertian, pembangkit, tipe-tipe Pasang surut (<http://sungageo.blogspot.com>). Diakses pada tanggal 7 Mei 2016 pk. 09.52 pm.
- Hadi, S., dan I, Radjawane., (2009). Arus Laut. Bandung, Institut Teknologi Bandung.
- Hutabarat, S., dan S, M, Evans., (1985). Pengantar Oseanografi, Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Ilahude, A.G. (1999). Pengantar Keoseanologi Fisika, LIPI.
- Poerbandono, E., dan Djunarsjah., (2005). Survey Hirografi. Bandung. PT Refika Aditama.
- Rifaldi. (2012). Ekologi Sedimen Laut Modern. Pekanbaru. *UR Pres*
- Soewarno, (1991). “Hidrologi”, Penerbit Nova. Bandung.
- Supangat, A., dan Susanna., (2003). Pengantar Oseanografi. Departemen Kelautan dan Perikanan, Jakarta.
- Triatmodjo, B. (1999). Teknik Pantai. Beta Offset, Yogyakarta.
- Yuwono, N. (1994). Perencanaan bangunan jetti, Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi. PAU-IT-UGM, Yogyakarta.